

МОДЕЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОГО ПОЛЯ БАГАТОЕЛЕКТРОДНИХ СИСТЕМ ПРИСТРОЇВ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ОЧИСТКИ ТА СЕПАРАЦІЇ ДІЕЛЕКТРИЧНИХ СУСПЕНЗІЙ

І.П. Назаренко, к.т.н., доцент, Таврійський державний агротехнологічний університет

В.Ф. Яковлев, д.т.н., проф., Сумський національний аграрний університет

О.І. Лобода, ст. викладач, Таврійський державний агротехнологічний університет

С.В. Петриченко, к.т.н., доцент, Таврійський державний агротехнологічний університет

На підставі співставлення результатів математичного моделювання електричного поля багатоелектродних систем аналітичним та імітаційним методами обґрунтовано можливість їх застосування для розрахунку пристроїв електричної очистки та сепарації діелектричних суспензій.

Постановка проблеми в загальному вигляді.

Пристрої електричної очистки та сепарації діелектричних суспензій використовують в технологіях виробництва рослинних олій, регенерації рідин для змащування та охолодження, в нафтопереробній промисловості та інших технологіях [1]. В електросепараторах та електрофільтрах діелектричних суспензій використовують різноманітні системи електродів, найпоширенішими з яких є електроди у вигляді рядів паралельних циліндрів та рядів паралельних пластин. При проектуванні таких пристроїв потрібно знати величини сил, які діють на зважені частинки суспензії. Тому розрахунок електричного поля між електродами є основою проектування пристроїв очистки та сепарації діелектричних суспензій.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Для розрахунку електричного поля існує багато методів, кожний з яких підходить до певного класу задач електростатики [2]. В роботах [3,4] розглянута система циліндричних електродів розташованих паралельними рядами. Для вирішення такої плоскої електростатичної задачі (величина поля не залежить від однієї з координат) було застосовано метод комплексного потенціалу, а багатозв'язна область, шляхом заміни циліндричних електродів на напівнескінчені плоскі, була розглянута як однозв'язна. Але в статті не розглянута величина похибки, що виникає при такому спрощенні.

Формулювання цілей статті (постановка завдання).

Робота направлена на розробку та співставлення аналітичних та імітаційних моделей електричного поля для обґрунтування та розрахунку параметрів пристроїв електричної очистки та сепарації діелектричних суспензій.

Виклад основного матеріалу досліджень.

Для реалізації біжучого електричного поля застосовують електродні системи, що являють собою ряди плоских електродів, наприклад, як показано на рис.1, або ряди циліндричних електродів як показано на рис.2. На електроди подається багатозв'язна напруга. В такій системі електродів електричне поле має досить складну конфігурацію, яка до того ж змінюється з часом.

Для розрахунку електричного поля використовуємо метод комплексного потенціалу [2]. Якщо в якійсь площині комплексний потенціал поля визначений, то для знаходження комплексного потенціалу в площині потрібно знайти функцію, що реалізує конформне відображення площини в площину ω .

Області, що обмежені системою електродів (рис.1 та рис.2) є багатозв'язними. Для таких областей не існує загального методу відображення на канонічну область [5] з відомим розподілом комплексного потенціалу. Але область системи пластинчастих паралельних електродів, що показана на рис.2 у разі, якщо ці електроди безмежні, являє собою однозв'язну багатокутну область.

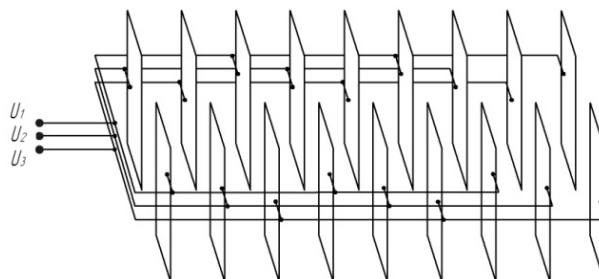


Рисунок 1 – Система пластинчастих плоских електродів

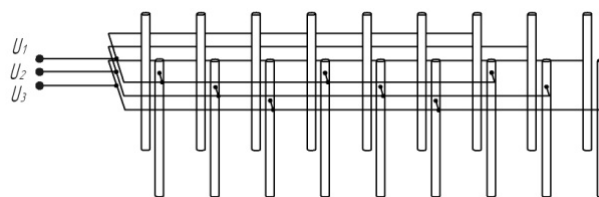


Рисунок 2 – Система циліндричних електродів.

Для таких областей, що обмежені відрізками прямих (багатокутників), існує єдиний метод знаходження функцій, що відображають. Цей метод базується на використанні інтеграла Кристоффеля – Шварца [5]:

В роботі [4] було знайдено вид функції комплексного потенціалу (перший вираз системи (1) та вид функції, що відображає (другий вираз системи (1):

$$\begin{cases} W = \frac{1}{\pi} \sum_{k=1}^{n-1} (U_k - U_{k-1}) \ln(\omega - a_k) + (U_n - U_2) \ln(\omega - a_2) + \\ + \frac{1}{\pi} \sum_{i=1}^{m-1} (U_i - U_{i+1}) \ln(\omega - c_i) + (U_m - U_2) \ln(\omega - c_2); \\ z = \frac{1}{\pi} \sum_{k=1}^n h \ln(\omega - a_k) + \frac{1}{\pi} \sum_{i=1}^m h \ln(\omega - c_i), \end{cases} \quad (1)$$

де W - комплексний потенціал, В;
 U_i - потенціал i -го електроду, В;
 ω - комплексні змінні, м;
 h - відстань між електродами в ряду, м;
 a_k, c_i - константи.

Визначення параметрів при $n > 3$ є дуже складною задачею, яка на практиці вирішується методом підбору [5]. Очевидно, що при збільшенні кількості електродів електричне

поле в середині області буде наближатися до поля відтвореного нескінченною кількістю електродів.

В результаті побудови функції, що відображає для системи однорядних ($m=0$) плоских електродів було встановлено, що збільшення кількості електродів понад 7 не призводить до зміни топології електричного потенціалу в центрі області. Тому для відтворення топології поля в центрі області нескінченної кількості електродів достатньо обмежитись 7 електродами.

В таблиці 1 надані параметри функції, що відображає для 7-електродної однорядної області з плоскими пластинчастими електродами.

Таблиця 1

Параметри функції, що відображає для площини з розрізами вздовж паралельних променів, що направлені в один бік

n	m	h	c_1	c_2	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5	a_6	a_7	a_8
8	0	1	0	∞	0.5	1.6	3.5	6	9	11.5	13.4	14.5

Візуалізація поля, що описується формулами системи (1) здійснювалась за допомогою програмних засобів «Matlab». На рис.3 показані екіпотенціальні лінії поля однорядної системи пластинчастих електродів (значення потенціалів вказані на екіпотенціальних лініях). При розрахунках приймалися миттєві значення потенціалів: $U_1 = U_7 = 1В$; $U_2 = U_3 = U_4 = U_5 = U_6 = -0.5В$, що відповідають симетричній трифазній системі напруг.

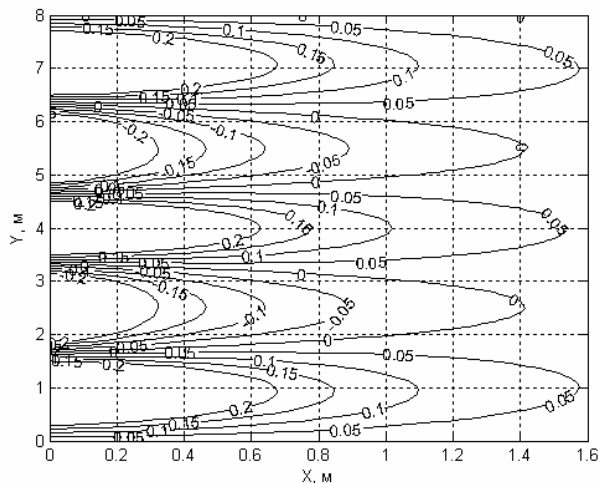


Рисунок 3 – Екіпотенціальні лінії електричного поля однорядної системи пластинчастих електродів

Таким чином була отримана аналітична модель електричного поля. Для порівняння отриманої аналітичної моделі з імітаційною нами використане спеціалізоване програмне забезпечення «ELCUT», що дозволяє отримати параметри електростатичного поля методом кінцевих

елементів. При постановці задачі і відбудові імітаційної моделі в програмному середовищі «ELCUT» крок сітки був прийнятий таким, що дорівнює 0,01 частини відстані між електродами. Значення потенціалів на електродах - такі ж як і в аналітичній моделі, розрахованій за допомогою програмних засобів «Matlab». Порівняння здійснювалось для центру області з розмірами: $\Delta Y=1$ м (відстань між електродами); $\Delta X=0,5$ м (відстань до лінії, що з'єднує торці електродів).

На рис.4 показано графіки розподілу потенціалу в середині електродної області, що побудовані відповідно аналітичній моделі за допомогою програмних засобів «Matlab». На лініях графіків вказана координата X.

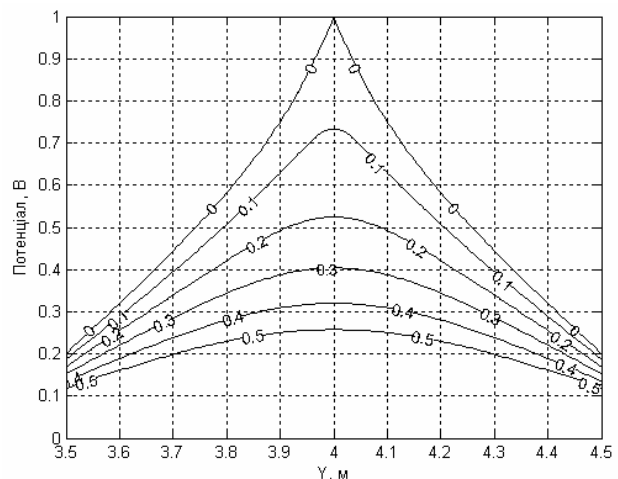


Рисунок 4 – Залежності потенціалу від координати Y для пластинчастих однорядних електродів, що отримані відповідно аналітичній моделі

На рисунку 5 представлено один з графіків залежності потенціалу від координати Y при X=0,1 м для пластинчастих електродів, а на рисунку 6 – для циліндричних електродів (діаметр електроду прийнятий значно меншим відстані між електродами). Ці графіки побудовані за допомогою програмного забезпечення «ELCUT».

Для порівняння цих моделей була розрахована розбіжність між потенціалами в точках області за формулою

$$\delta U_i = \frac{U_{ei} - U_{ai}}{U_{ai}}, \quad (2)$$

де δU_i – відносна розбіжність між потенціалами в i -тій точці, в.о.

U_{ei} – значення потенціалу в i -тій точці імітаційної моделі, В;

U_{ai} – значення потенціалу в i -тій точці аналітичної моделі, В,

δU_{cp} та середня розбіжність між потенціалами в областях, що розглядаються за формулою

$$\delta U_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^n \delta U_i}{n}, \quad (2)$$

Порівняння моделей показує незначну розбіжність для пластинчастих електродів (рис.7). Її середня величина складає 0,048 і пов'язана з похибкою у визначенні параметрів функції, що відображує, а також з кінченим кроком сітки при побудові імітаційної моделі в програмному середовищі «ELCUT». Розбіжність між пластинчастими електродами аналітичної моделі та циліндричними імітаційної значно більша (рис. 8), її середня величина дорівнює 0,38.

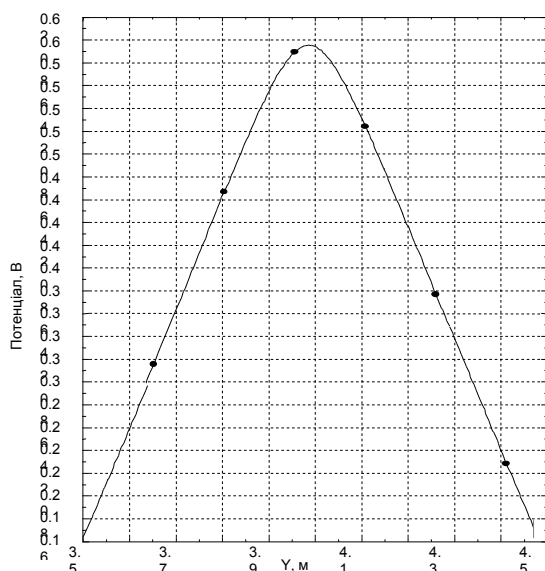


Рисунок 5 – Залежність потенціалу від координати Y, для пластинчастих однорядних електродів, що отримана відповідно імітаційної моделі (X=0,1 м)

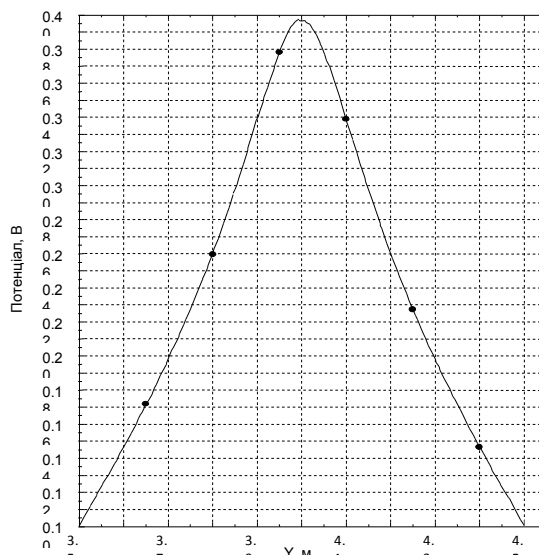


Рисунок 6 – Залежність потенціалу від координати Y, для пластинчастих однорядних електродів, що отримана відповідно імітаційної моделі (X=0,1 м)

В технічних додатках більше значення мають багаторядні системи електродів. Тому нами були визначені параметри функції, що відображує для дворядної системи при різних співвідношеннях між відстанню між електродами () та відстанню між рядами електродів (). Визначені шляхом підбору параметри цієї функції зведені в таблицю 2.

Порівняння аналітичної та імітаційної моделей здійснювалось аналогічно однорядній системі електродів.

На рис. 9 показані еквіпотенціальні лінії для дворядної системи пластинчастих електродів (див. рис. 1) при $\epsilon = 1$. Графіки залежностей потенціалу в області між рядами пластинчастих електродів від координати Y при різних значеннях координати X показані на рис. 10. Рис. 9 та рис. 10 відповідають аналітичній моделі.

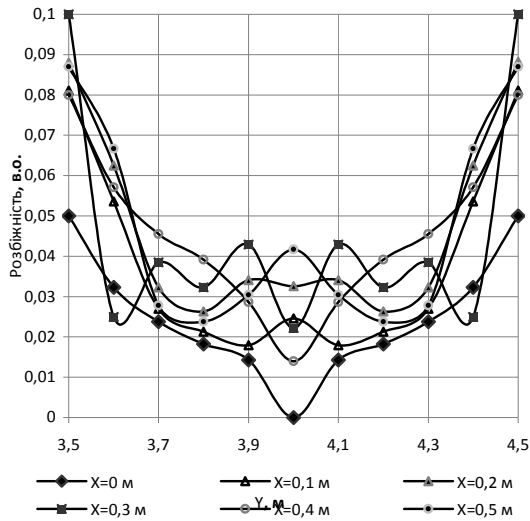


Рисунок 7 – Відносні розбіжності між значеннями потенціалу для пластинчастих одно-рядних електродів в аналітичній та імітаційній моделях

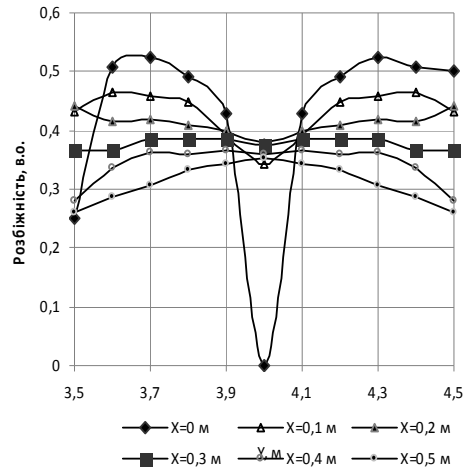


Рисунок 8 – Відносні розбіжності між значеннями потенціалу для пластинчастих електродів в аналітичній моделі та циліндричних електродів в імітаційній моделі

Таблиця 2

Параметри функції, що відображає для площини з розрізами вздовж паралельних променів, що направлені в різні боки при $n = 5, C_1 = 0$

Параметр	Величина							
h/l	0,05	0,2	0,3	0,5	1	1,5	2	3
a_1	$-1,3 \cdot 10^5$	$-2,3 \cdot 10^3$	-700	-1000	-220	-150	-55	-63
a_2	-50	-14	-9	-35	-30	-35	-20	-33
a_3	-0,02	-0,1	-0,12	-1,2	-3,8	-6,8	-5,6	-14
a_4	$-8 \cdot 10^{-6}$	$-7 \cdot 10^{-4}$	$-1,7 \cdot 10^{-4}$	-0,045	-0,5	-1,4	-1,7	-6
a_5	$-3 \cdot 10^{-9}$	$-4 \cdot 10^{-6}$	$-2,5 \cdot 10^{-5}$	$-1,7 \cdot 10^{-4}$	-0,06	-0,35	-0,62	-3,2
c_1	$3 \cdot 10^{-9}$	$4 \cdot 10^{-6}$	$2,5 \cdot 10^{-5}$	$1,7 \cdot 10^{-4}$	0,06	0,35	0,62	3,2
c_2	$8 \cdot 10^{-6}$	$7 \cdot 10^{-4}$	$1,7 \cdot 10^{-4}$	0,045	0,5	1,4	1,7	6
c_3	0,02	0,1	0,12	1,2	3,8	6,8	5,6	14
c_4	50	14	9	35	30	35	20	33
c_5	$1,3 \cdot 10^5$	$2,3 \cdot 10^3$	700	1000	220	150	55	63

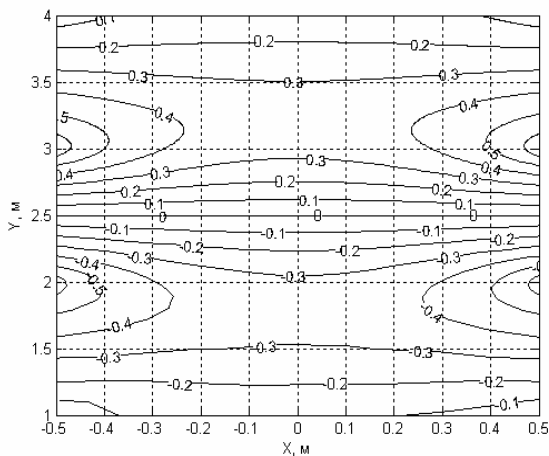


Рисунок 9 – Еквіпотенціальні лінії електричного поля дворядної системи пластинчастих електродів

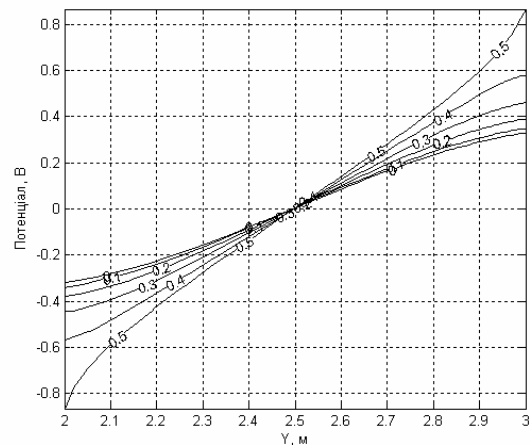


Рисунок 10 – Залежності потенціалу від координати Y для пластинчастих дворядних електродів, що отримані відповідно аналітичній моделі

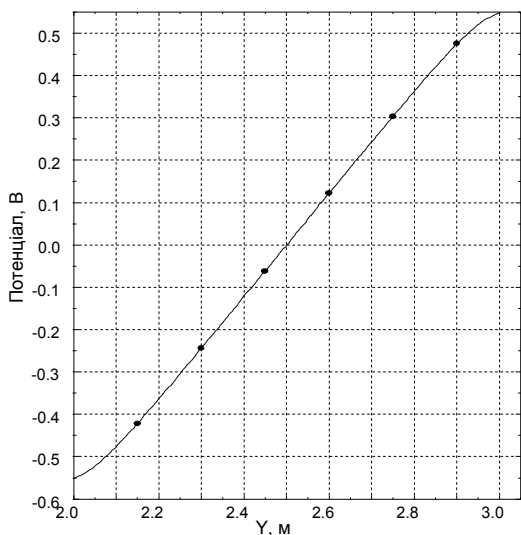


Рисунок 11 – Залежність потенціалу від координати Y , для пластинчастих дворядних електродів, що отримана відповідно імітаційної моделі ($X=0,1\text{ м}$)

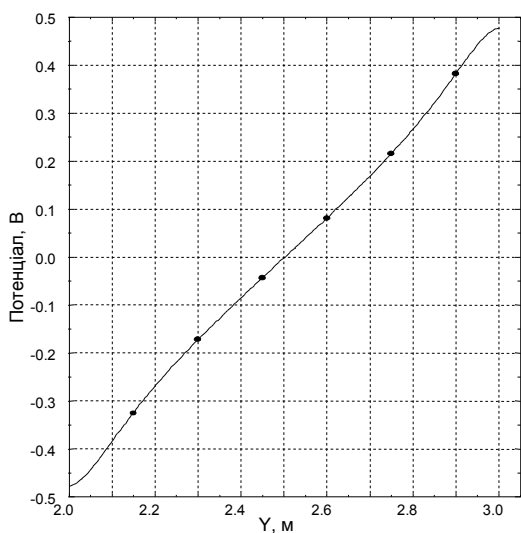


Рисунок 12 – Залежність потенціалу від координати Y , для циліндричних дворядних електродів, що отримана відповідно імітаційної моделі ($X=0,1\text{ м}$)

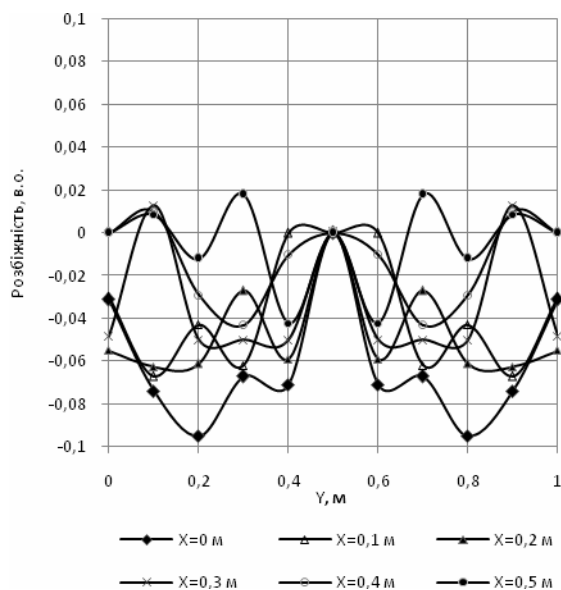


Рисунок 13 – Відносні розбіжності між значеннями потенціалу для пластинчастих дворядних електродів в аналітичній та імітаційній моделях

Графіки рис. 11 та рис. 12 побудовані на підставі імітаційної моделі. Їх порівняння, як і в попередньому випадку, показує не значну розбіжність для пластинчастих електродів (рис. 13). Середнє значення розбіжностей складає 0,041. Розбіжність між пластинчастими електродами аналітичної моделі та циліндричними імітаційної більша (рис. 14), її середня величина дорівнює 0,15.

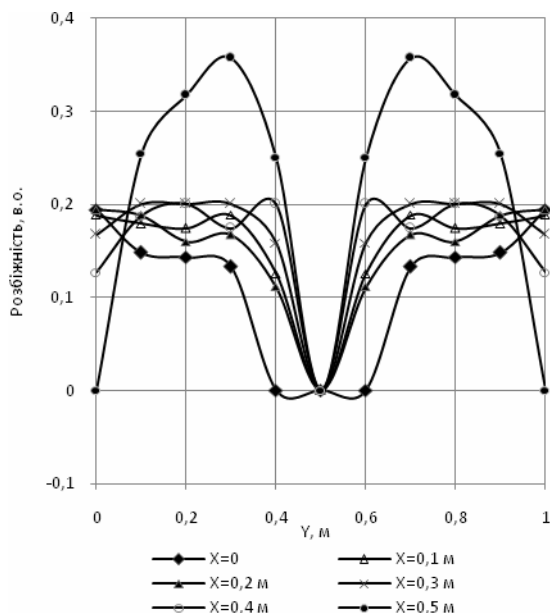


Рисунок 14 – Відносні розбіжності між значеннями потенціалу для пластинчастих електродів в аналітичній моделі та циліндричних електродів в імітаційній моделі

Висновки.

Розробка та співставлення аналітичних моделей електричного поля методами теорії функції комплексної змінної та імітаційних моделей електричного поля методом кінцевих елементів показали їх збіг для плоских пластинчастих електродних систем (середня розбіжність не перевищує 5%).

При використанні аналітичної моделі систе-

ми плоских пластинчастих електродів для опису поля циліндричних електродів потрібно врахувати розбіжність, пов'язану з прийнятими наближеннями, яка складає 38% для однорядних електродів, та 15% для багаторядних електродів.

Отримані залежності дозволяють розраховувати технологічні та конструктивні параметри пристроїв електричної очистки та сепарації діелектричних суспензій

Список використаної літератури:

1. Эфендиев О.Ф. Электроочистка жидкости в пищевой промышленности / О.Ф. Эфендиев. – М.: Пищевая промышленность, 1977. –149с.
2. Миролюбов Н.Н. Методы расчета электростатических полей / Н.Н. Миролюбов, М.В. Костенко, М.Л. Левинштейн, Н.Н. Тиходеев. – М.: Высшая школа, 1963. - 415 с.
3. Назаренко І.П. Моделювання біжучого електричного поля в електросепараторах діелектричних суспензій / І.П. Назаренко // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. – Харків: ХНТУСГ, 2010.- Вип.101.- С. 137-138.
4. Назаренко І.П. Теоретичні дослідження взаємодії електричного поля з діелектричними суспензіями в багатоелектродних системах / І.П. Назаренко // Праці Таврійського державного агротехнічного університету. - Мелітополь, 2012. - Вип. 12, т. 1. - С. 35-45.
5. Лаврентьев М.А. Методы теории функции комплексного переменного/ М.А. Лаврентьев, Б.В. Шабат.- М.: Наука, 1987. – 740 с.

На основании сопоставления результатов математического моделирования электрического поля многоэлектродных систем аналитическим и имитационным методами обоснована возможность их применения для расчета устройств электрической очистки и сепарации диэлектрических суспензий.

On the basis of comparison of results of mathematical design of the electric field of the systems of multielectrodes analytical and imitation methods are ground possibility of their application for the calculation of devices of the electric cleaning and separation of dielectric suspenzyu.

Дата надходження в редакцію: 10.02.2012. р.

Рецензент: д.ф.-м..н., професор Кузема О.С.

УДК 615.47

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ОЦЕНКИ СТЕПЕНИ УТОМЛЕНИЯ И ПСИХОЭМОЦИОНАЛЬНОГО НАПРЯЖЕНИЯ У РАБОТНИКОВ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА

Р.А. Крупчатников, к. с.-х. н., доцент, Курская государственная сельскохозяйственная академия
Н.С. Климов, к.т.н., доцент, Курская государственная сельскохозяйственная академия

В работе рассматриваются вопросы синтеза нечетких решающих правил для классификации и оценки уровня психоэмоционального напряжения и утомления по показателям, характеризующим переключаемость, устойчивость и концентрированность внимания.

Ключевые слова: внимание, утомление, психоэмоциональное напряжение, нечеткая логика.

Совместными исследованиями, проведенными сотрудниками Юго-Западного государственного университета, Курского государственного медицинского университета и Курской государственной сельскохозяйственной академии было показано, что показатели характеризующие внимание человека являются хорошими индикаторами функционального состояния человека. В данной работе исследуется взаимосвязь показателей внимания с условием психоэмоционального напряжения и утомления. Выбранные для исследования показатели внимания реализуются с

помощью методик описанных в работе [3] и реализуемых с помощью прибора выполненного с использованием микроконтроллера управляющего сенсорной панелью. С помощью этой панели генерируются световые и (или) знаковые стимулы, на которые испытуемый отвечает нажатием на реактивные кнопки в заданной последовательности. Исследуются такие показатели внимания как концентрированность, объем, селективность, переключаемость, распределяемость и устойчивость. Кроме того в компьютерном и приборном варианте реализуются методики позво-